

火电机组控制工程应用技术丛书

KAIGUANLIANG KONGZHI JISHU JIQI YINGYONG

开关量控制技术 及其应用

万晖 蒋鸣 杜岩 王苏华 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

火电机组控制工程应用技术丛书

KAIGUANLIANG KONGZHI JISHU JIQI YINGYONG

开关量控制技术 及其应用

万晖 蒋鸣 杜岩 王苏华 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

本书分三大部分：开关量控制系统的基础、火力发电厂主控系统和火力发电厂辅控系统。

在第一部分开关量控制系统的基础中，第一章介绍开关量控制系统的历史、逻辑代数基本知识、火电厂常用术语等；第二章讲解计算机开关量控制系统的基础知识，内容包括计算机控制系统的基本结构、类型和组态语言；第三章讲解开关量控制系统的设计，控制系统的结构和模块化设计思想，并详细列举了典型逻辑图的设计思路。

在第二部分火力发电厂主控系统中，第四章讲解火力发电厂生产过程，主控系统的配置方案和机组自启停控制系统（APS）；第五章讲解炉膛安全监控系统（FSSS）；第六章讲解汽轮机紧急跳闸系统（ETS）；第七章讲解顺序控制系统（SCS）；第八章讲解电气控制系统（ECS）。

在第三部分火力发电厂的辅控系统中，第九章讲解火电厂辅控车间一体化设计思想；第十章讲解水处理系统，包括化学水系统，凝结水精处理系统和废水系统；第十一章讲解输煤程控；第十二章讲解除灰除渣系统；第十三章讲解脱硫系统；第十四章讲解空冷系统。

本书语言简洁，实例丰富、实践性强。可供生产过程自动化（热工）的本科生、硕士研究生使用，也可供电厂的热工技术员和工程师参考。

图书在版编目（CIP）数据

开关量控制技术及其应用 / 万晖等编著. —北京：中国电力出版社，2009

（火电机组控制工程应用技术丛书）

ISBN 978-7-5083-8298-2

I. 开… II. 万… III. 火力发电-发电机-机组-控制系统
IV. TM621.6

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第211436号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年5月第一版 2009年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 17.25印张 419千字

印数 0001—3000册 定价 32.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

序

我非常欣喜地看到由中国电力出版社组织的《火电机组控制工程应用技术丛书》即将出版。

这套技术丛书几乎涵盖了现代火电机组控制系统理论和工程应用的各个领域，具有以下特色：

1. 知识新，软、硬件知识相结合

丛书的内容涵盖大多数控制技术领域，并在相应的领域都体现了现代火电机组控制系统的最新技术。其中，《模拟量控制技术及其应用》、《开关量控制技术及其应用》、《可编程序控制器及其应用》和《变频技术及其应用》详细叙述了火电机组控制系统中最新的控制设备、技术和控制策略的理论及其工程应用；《分散控制系统及其应用》、《现场总线控制系统及其应用》和《智能控制系统及其应用》介绍了关于现代控制系统的最新软件和硬件技术，全面介绍了分散控制系统、现场总线控制系统和智能控制的最新理论和应用发展。

2. 技术实用，具有很高的实用价值

《分散控制系统及其应用》、《现场总线控制系统及其应用》和《智能控制系统及其应用》的作者都是在电力系统具有丰富工程、教育实践和雄厚理论知识的专家，作者们对火电机组安全生产和电力行业技术标准的深刻理解，具有丰富的现场工作经验和坚实的控制理论基础，这些都为丛书的高质量出版提供了有力的保障。

《分散控制系统及其应用》和《现场总线控制系统及其应用》详细地分析了分散控制系统和现场总线控制系统的硬件构成和功能模块的设计、网络通信系统和各种接口的技术标准、软件组态等。国内外分散控制系统（DCS）在我国火电机组中得到了广泛应用，现场总线控制系统（FCS）正在我国火电机组中推广应用，这两本书的出版对于提高分散控制系统（DCS）和现场总线控制系统的国产化技术水平具有重要实用价值。

《智能控制系统及其应用》详细地介绍了人工智能控制的最新理论和应用成果，内容涉及神经网络控制系统、专家系统、模糊逻辑推理控制系统和预测控制系统。该书理论翔实，论述清晰。这些先进的人工智能控制在火电机组中的推广应用，将改进传统的PID控制器的不足，提高火电机组过程控制的品质。

3. 目标明确，针对性强

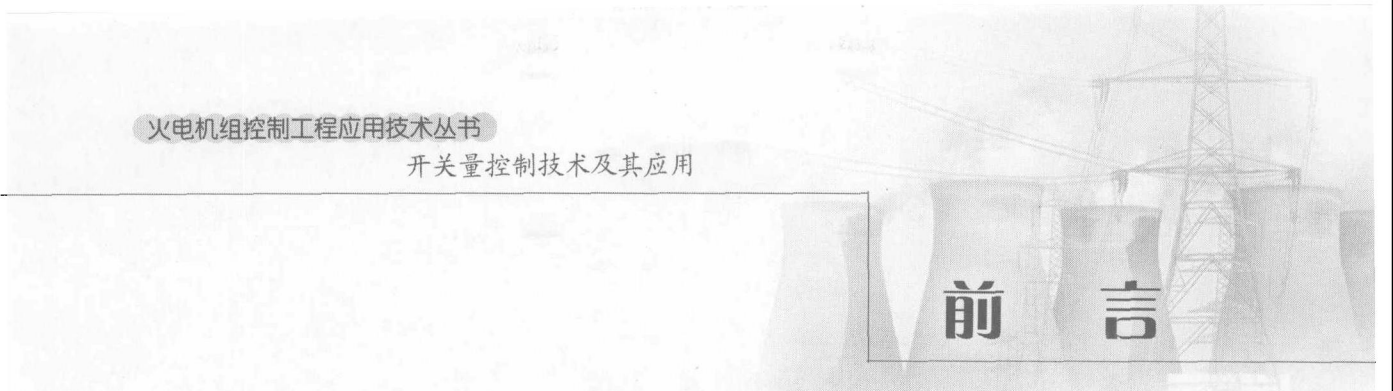
确保生产安全，提高火电机组的生产效益、节能减排、保护环境是我国电力系统广大员

工和火电机组运行过程追求的目标，也是《火电机组控制工程应用技术丛书》出版的目的。先进的控制系统（硬件）——分散控制系统、现场总线控制系统、可编程序控制器（PLC）和变频技术加上先进的控制技术和控制策略（软件）——火电机组的模拟量控制策略组态、开关量控制策略组态和智能控制策略的应用，在本套书中都得到了充分的体现，达到完美的统一，实现了丛书的编写目的。

4. 可读性强，深入浅出，易于掌握

《模拟量控制技术及其应用》、《开关量控制技术及其应用》、《可编程序控制器及其应用》和《变频技术及其应用》详细分析了火电机组的机炉协调控制系统、给水系统、燃烧控制系统等热控系统，汽轮机（DEH）控制系统和发电机控制系统的模拟量和开关量系统的控制策略组态和变频技术在火电机组控制系统方面的应用成果，特别是对每个控制系统的故障处理（包括机组设备退出运行）、系统的生产安全保护知识的介绍，反映了丛书作者深谙火电机组的生产过程，并对火电机组的控制技术有很强的控制能力。丛书内容安排由浅入深，将技术知识体现为简单易懂的语言，让读者容易理解和接受，达到提高应用水平的目的。

我国的火电机组正在向大容量、高参数方向发展。科学技术是第一生产力。技术更新、生产力发展，技术和生产力互为依托，相互促进。我们有理由相信由中国电力出版社策划并即将出版的《火电机组控制工程应用技术丛书》，对于提高我国的火电机组控制系统和控制技术的先进性，提高从业人员的技术水平，促进我国电力事业的科学发展具有重要的推动作用和实用价值。



前言

在我国国民经济高速发展以及对电力工业要求越来越高的今天,选择大容量、高参数、低能耗且对环境污染小的火电机组投入电网,是电力工业持续发展的必由之路。大容量火电机组是技术密集的重大技术装备,其发电过程涉及一千台以上的设备,需监控参数达一万个以上,工艺流程十分复杂。如果电厂监控全部由运行人员手动操作,是难以完成的,不仅工作强度大,而且也容易误操作。

热工自动化装置可以监测和控制整个工艺流程,包括热工检测、自动调节、程序控制和热工保护,其中后面两项属于开关量控制系统的范畴。许多从事热工控制专业的人员迫切需要了解这方面的新技术,作者特意编写了此书。

编者利用业余时间收集资料,包括计算机控制、逻辑控制等基本理论,锅炉汽轮机以及各辅机厂家资料,并结合十多年的现场调试经验和最新技术革新成果,内容涵盖了电厂主控和辅控的各个方面。

本书分三大部分:开关量控制系统的基础、火电厂主控系统和火电厂辅控系统。

在第一部分开关量控制系统的基础中,第一章介绍开关量控制系统的历史、逻辑代数基本知识、火电厂常用术语等;第二章讲解计算机开关量控制系统的基础知识,内容包括计算机控制系统的基本结构、类型和组态语言;第三章讲解开关量控制系统的设计,控制系统的结构和模块化设计思想,并详细列举了典型逻辑图的设计思路。

在第二部分火力发电厂主控系统中,第四章讲解火力发电厂生产过程,主控系统的配置方案和机组自启停控制系统(APS);第五章讲解炉膛安全监控系统(FSSS);第六章讲解汽轮机紧急跳闸系统(ETS);第七章讲解顺序控制系统(SCS);第八章讲解电气控制系统(ECS)。

在第三部分火力发电厂的辅控部分中,第九章讲解火电厂辅控车间一体化设计思想;第十章讲解水处理系统,包括化学水系统,凝结水精处理系统和废水系统;第十一章讲解输煤程控;第十二章讲解除灰除渣系统;第十三章讲解脱硫系统;第十四章讲解空冷系统。

在本书的写作过程中,西北电力建设调试施工研究所蒋鸣编写了第五、六章;国电怀安热电有限公司杜岩编写了第十、十一、十二章;国电智深控制技术有限公司王苏华编写了第十三、十四章;国电智深控制技术有限公司万晖编写了其余章节。另外,还要感谢国电智深控制技术有限公司的同事王疆、齐永霞、孙颖、白炜、孙瑜、张建波、刘明佳的帮助。同时,也感谢国电智深控制技术有限公司的同事安平绘制了本书大部分的图纸、国电环境科学研究院脱硫研究所张承武的帮助和审阅。

限于编者水平,难免出现不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2009年4月

目 录

序

前言

第一部分 开关量控制系统的基础

第一章 绪论	1
第一节 开关量控制系统的历史	1
第二节 逻辑代数基础	3
第三节 开关量控制系统在火电厂的重要作用	6
第四节 火电厂开关量控制系统的常用术语介绍	7
第二章 计算机开关量控制系统	10
第一节 计算机开关量控制系统的结构	10
第二节 开关量控制系统的计算机平台	11
第三节 计算机开关量控制系统的组态语言	17
第三章 开关量控制系统的设计	22
第一节 模块化设计思想和方法	22
第二节 典型逻辑	23
第三节 典型逻辑图的应用	35

第二部分 火力发电厂主控系统

第四章 火力发电厂简介	41
第一节 概述	41
第二节 DCS在火力发电厂主控系统的配置方案	44
第三节 机组自启停控制系统(APS)	46
第五章 炉膛安全监控系统	51
第一节 概述	51
第二节 锅炉点火前的准备	52
第三节 锅炉安全灭火(MFT和OFT)	56
第四节 油燃烧器管理	61
第五节 煤燃烧器管理	64

第六节 等离子点火及其他设备	70
第六章 汽轮机紧急跳闸系统	73
第一节 概述	73
第二节 ETS 逻辑	74
第七章 顺序控制系统	79
第一节 概述	79
第二节 SCS 联锁关系的归类	81
第三节 一个典型 600MW 超临界机组锅炉 SCS 功能说明	84
第四节 一个典型 600MW 超临界机组汽轮机 SCS 功能说明	94
第八章 电气控制系统	118
第一节 概述	118
第二节 发变组及其励磁系统	120
第三节 厂用电系统	124
第四节 断路器电气二次回路原理	133

第三部分 火力发电厂的辅控部分

第九章 火电厂辅控车间一体化	137
第一节 概述	137
第二节 辅助车间一体化控制系统选型	138
第十章 水处理系统	143
第一节 化学水系统简介	143
第二节 化学水系统功能说明	146
第三节 凝结水精处理系统功能说明	158
第四节 废水处理系统功能说明	166
第十一章 输煤程控	178
第一节 输煤系统简介	178
第二节 输煤程控功能说明书	181
第十二章 除灰除渣系统	202
第一节 除灰系统	202
第二节 除渣系统	207
第十三章 脱硫系统	212
第一节 脱硫系统简介	212
第二节 湿法脱硫功能说明	217
第十四章 空冷系统	241
第一节 空冷系统简介	241
第二节 空冷系统功能说明	242
附录 A DCS 的开关量算法块	249
附录 B 二十五项反措之防止分散控制系统失灵、热工保护拒动事故	264
参考文献	266

开关量控制系统的基础

第一章

绪 论

第一节 开关量控制系统的历史

1 概述

开关量控制是有别于模拟量控制的一种以逻辑代数为基础发展起来的逻辑控制技术。它包括顺序控制、自动保护以及设备的自动启停或开关操作。在 DL/T701—1999《火力发电厂热工自动化术语》是这么定义开关量控制系统的：“实现机、炉、电及其辅助设备启、停或开、关的操作的总称及对某一工艺系统或主要辅机按一定规律进行控制的控制系统，包括顺序控制系统。”其英文名称为“on-off control system”，简称 OCS。

传统的开关量控制是通过以继电器为主体构成的控制回路实现上述功能的，通过固定配线方式实现动作的过程执行，现在我们通常称为硬（接线）回路。随着计算机技术的发展，新型控制器和控制系统的诞生，如可编程控制器和分布式控制系统，把逻辑回路的实现步骤记忆在存储器中，我们通常称为软（逻辑）回路。因为计算机控制器中的逻辑修改非常方便，硬件的构成不再依赖特定的过程或顺序，所以这样的控制器可以批量生产，在机械、冶金、化工、电力、轻纺等领域得到广泛的运用，极大地推动了社会生产力的进步。

2 开关量控制技术的历史

早在 18 世纪就已经有了自动纺织机（1741 年）和传送带式自动磨粉机（1791 年），而模拟量控制通常被认为起源于 1784 年 Watt 的离心式调速机的发明，所以说开关量控制技术和模拟量控制技术一样具有悠久的历史。

1824 年 Sturgeon 制成了电磁石，在此基础上，1836 年 Henry 发明了电磁继电器。1847 年英国布尔（Boole）提出了作为开关量控制基础理论的逻辑代数。但直到 20 世纪 30 年代，才在上述理论和技术的基础上开发出了开关量控制系统，形成操作者↔控制柜↔控制对象这样的系统连接模式。当时的开关量顺序控制器，大都采用由各种继电器和接触器组成的控制柜，也是目前在工厂中仍然大量应用的开关量控制装置。

1948 年，控制论的创始人维纳（Wiener）在他的《控制论——关于动物体和机器的控制与联系的科学》一书中，就阐述了怎么把机械元件与电气元件组合成稳定的，并且具有特

定性能的系统，在这期间首次提出了信息、决策和控制的观念。

20 世纪 50 年代随着远程监视技术的引入，开关量控制系统又分为控制动作回路和控制操作监视两个功能，形成了操作者↔操作台↔控制柜↔控制对象的系统连接模式，完成状态控制与监视操作的功能。

20 世纪 60 年代初，随着电子技术的发展，晶体管构成的无节点继电器逐步取代传统的电磁继电器，半导体逻辑元件由晶体管、硅可控整流元件、电阻器、电容器等组成，形成各种基本电路，包括逻辑门（与、或、非）、触发器、振荡器以及开关放大器、延时元件、停电记忆元件、电平检测器、接近开关、交流可控硅开关等，这些元件和电路形成某些特定功能单元，如果按照需要组合起来就构成了开关量顺序控制器。控制装置向电子化、小型化进一步发展，可靠性也得到进一步提高。

20 世纪 60 年代后期，集成电路化的微型计算机芯片的出现使得控制器可以在线使用，1969 年美国 DEC 公司研制出世界上第一台可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller），简称 PLC，用在 General Motors 公司生产线上获得成功。

PLC 的特点如下：

- （1）继电控制系统设计周期短，更改容易，接线简单，成本低。
- （2）能把计算机的许多功能和继电控制结合，编程又比计算机简单易学，操作方便。
- （3）系统通用性强。
- （4）系统可靠性更高。

作为一种先进而又成熟的技术，目前 PLC 被广泛地应用在机械、冶金、化工、电力、轻纺等领域，提高了劳动生产率和自动化程度，而且也推动了工业技术革命的历程。

1975 年美国最大的仪表公司之一 Honeywell 公司首次向全世界推出它的分布式计算机控制系统（Distributed Control System, DCS）TDC-2000，该系统由回路仪表控制系统发展而来。所谓分布式计算机控制系统，就是在生产过程的各个局部范围内配置以微型计算机为核心的数字式局部控制器，称为分布处理单元（Distributed Process Unit, DPU），实现就地控制。一条高速数据通道将所有的系统处理单元连接起来，完成处理单元之间或处理单元与上位机之间的数据通信，用以彩色屏幕显示器（CRT）为中心的人机接口来实现对整个生产过程的监督控制。全系统的信息综合管理和现场控制相分离，这是分布式控制系统的重要标志。这样，不但提高了控制速度，还避免了采用集中控制时，一旦主机出现故障，就会导致所有控制失灵的危险。

分布式计算机控制系统是集计算机（Computer）技术、控制（Control）技术、通信（Communication）技术和图形显示（CRT）技术所谓 4C 技术于一体的计算机系统。它一经问世，就受到工业界的瞩目，为实现高水平的自动化提供了强有力的技术工具，给生产过程自动化的发展带来深远影响。从此计算机在工业生产过程控制方面的应用进入了一个新的发展阶段，即分布式计算机控制系统的新时代。

到目前为止，可编程逻辑控制器 PLC 和分布式控制系统 DCS 的发展越来越接近。在工程应用的开关量逻辑控制领域，几乎凡是使用 PLC 的场合都可用 DCS 来代替，而用 DCS 的场合也可以用 PLC。两类装置的选择在于设计者根据具体工程目标的要求由装置的价格性能比所决定。

随着现场设备的智能化，现场设备和控制系统的接线方式由传统电缆发展为通信电缆，现场总线概念应运而生。目前现场总线已经开始应用在工业过程控制，并推动了以现场设备

为基础形成的网络集成式分布控制系统（Fieldbus Control System, FCS）的出现、发展和广泛应用。由于现场总线技术的出现，推动了现场智能设备和智能仪表的发展，促进了传统 DCS 和 PLC 的融合，将为实现真正数字化工厂创造条件。

第二节 逻辑代数基础

逻辑代数的基本概念是布尔（Boole）在 1847 年提出的，提出用符号来表达语言和思维的逻辑性。到了 20 世纪 30 年代，自动控制技术使用了开关电路，需要新的数学工具来处理开关电路系统中日益复杂的逻辑问题，于是逻辑代数得到广泛的重视。本节介绍逻辑代数的基本概念和基本性质，更详细的内容可参考“离散数学”的相关教材。

1 逻辑变量

大家都熟悉电路中的开关，如电灯的拉线开关、闸刀开关等手动开关，又如二极管、三极管组成的快速、无触电开关。这些开关都有一个共同点，即都具有接通和断开两种状态。这种具有通或断两种状态的电路，我们称之为开关电路。输入/输出信号具有两种使用状态的电路也是一种开关电路，如逻辑门电路、双稳态触发器等（电位的高低、脉冲的正负等），而计算机本身就是由许多这种开关电路按一定规律组合而成的。

我们将这两种状态分别用“1”和“0”来表示。一般在开关电路里，“0”代表断，而“1”代表通。在研究一个命题的真假时，“0”代表假，“1”代表真。

当一个变量的取值只能是“0”或“1”时，我们称为逻辑变量。

逻辑代数就是以取值“0”或“1”的逻辑变量为研究对象的。

2 逻辑运算

逻辑代数的基本运算有三种：与、或和非，其含义和普通代数运算不同，运算的基本性质也和普通代数完全不同。下面分别介绍三种基本逻辑运算的含义及其运算的基本性质。

2.1 基本逻辑运算

1. 与运算（逻辑乘法）

与运算逻辑关系见表 1-1，记为 $\cap$ 。

用数学语言来说就是：当且仅当 $A=1$ ， $B=1$ 时， $A \cap B=1$ 。与运算好比开关串联电路，只有当两个开关同时接通，电灯才会亮。

与运算有如下基本性质：

表 1-1 与运算真值表

A	B	OUT= $A \cap B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$A \cap B = B \cap A \quad (\text{乘法交换律}) \quad (1-1)$$

$$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C \quad (\text{乘法结合律}) \quad (1-2)$$

$$A \cap 0 = 0 \quad (1-3)$$

$$A \cap 1 = A \quad (1-4)$$

$$A \cap A = A \quad (\text{乘法重复律}) \quad (1-5)$$

以上公式可以用真值表来证明，在此就不一一证明了，读者可以自行证明。

式 (1-1) ~ 式 (1-4) 所表示的性质在形式上类同于普通代数的乘法性质, 所以与运算又叫逻辑乘法。

而式 (1-5) 表示在逻辑代数里, 是没有指数的, 与普通代数的乘法 $A \times A = A^2$ 不同。

表 1-2 或运算真值表

A	B	OUT=A∪B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

2. 或运算 (逻辑加法)

或运算逻辑关系见表 1-2, 记为 $\cup$ 。

用数学语言来说就是: 只要 A、B 中至少有一个为 1, 就有 $A \cup B = 1$ 。或运算好比开关并联电路, 只要当两个开关至少有 1 个接通或 2 个同时接通, 电灯都会亮。

或运算有如下基本性质:

$$A \cup B = B \cup A \text{ (加法交换律)} \quad (1-6)$$

$$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C \text{ (加法结合律)} \quad (1-7)$$

$$A \cup 0 = A \quad (1-8)$$

$$A \cup 1 = 1 \quad (1-9)$$

$$A \cup A = A \text{ (加法重复律)} \quad (1-10)$$

以上公式可以用真值表来证明, 在此就不一一证明了, 读者可以自行证明。

式 (1-6) ~ 式 (1-8) 所表示的性质在形式上类同于普通代数的加法性质, 所以或运算又叫逻辑加法。

而式 (1-9) 和式 (1-10) 是在普通代数里没有的, 式 (1-10) 表示在逻辑代数里, 是没有系数的, 与普通代数的加法 $A + A = 2A$ 不同。

对于与运算和或运算, 普通代数的分配律也成立, 即

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C) \text{ (乘对加的分配律)} \quad (1-11)$$

但在逻辑代数里还有另外的分配律

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \text{ (加对乘的分配律)} \quad (1-12)$$

此外, 逻辑代数还有下面两条特殊的性质

$$A \cap (A \cup B) = A \text{ (吸收律)} \quad (1-13)$$

$$A \cup (A \cap B) = A \text{ (吸收律)} \quad (1-14)$$

表 1-3 非运算真值表

A	OUT= $\sim A$
0	1
1	0

3. 非运算

非运算逻辑关系见表 1-3, 记为 $\sim$ 。

非运算有如下基本性质:

$$A \cap (\sim A) = 0 \quad (1-15)$$

$$A \cup (\sim A) = 1 \quad (1-16)$$

$$\sim(\sim A) = A \text{ (双重否定律)} \quad (1-17)$$

反演律 (德摩根公式)

$$\sim(A \cap B) = (\sim A) \cup (\sim B) \quad (1-18)$$

$$\sim(A \cup B) = (\sim A) \cap (\sim B) \quad (1-19)$$

对合律

$$(A \cup B) \cap (A \cup (\sim B)) = A \quad (1-20)$$

$$(A \cap B) \cup (A \cap (\sim B)) = A \quad (1-21)$$

以上公式可以用真值表来证明，在此就不一一证明了，读者可以自行证明。

2.2 逻辑代数

由逻辑常数（0 或者 1）、逻辑变量（只允许取值 0 或 1）以及与逻辑 $\cap$ 、或逻辑 $\cup$ 和非逻辑 $\sim$ 等组成的代数系统，称为逻辑代数。

含有有限个逻辑变量的表达式，称为逻辑函数。

从逻辑代数的基本性质中可以发现，逻辑代数有一个特性——对偶性。我们把逻辑代数的基本性质集中列于表 1-4 中。

在表 1-4 里关系式都是成对出现，在每对关系式中，只要将“0”和“1”互换，“ $\cap$ ”和“ $\cup$ ”互换，就可以从一个公式变成另一个公式。

例如，把式（1-4）的“0”换成“1”，“ $\cap$ ”换成“ $\cup$ ”，就可以变成式（1-9）。

表 1-4 逻辑代数的基本性质

序 号	名 称	公 式	编 号
1a	变量和常量的关系	$A \cap (\sim A) = 0$	式（1-15）
1b		$A \cup (\sim A) = 1$	式（1-16）
2a		$A \cap 0 = 0$	式（1-3）
2b		$A \cup 1 = 1$	式（1-8）
3a		$A \cap 1 = A$	式（1-4）
3b		$A \cup 0 = A$	式（1-9）
4a	重复律	$A \cap A = A$	式（1-5）
4b		$A \cup A = A$	式（1-10）
5a	交换律	$A \cap B = B \cap A$	式（1-1）
5b		$A \cup B = B \cup A$	式（1-6）
6a	结合律	$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$	式（1-2）
6b		$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$	式（1-7）
7a	分配律	$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$	式（1-11）
7b		$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$	式（1-12）
8a	吸收律	$A \cap (A \cup B) = A$	式（1-13）
8b		$A \cup (A \cap B) = A$	式（1-14）
9	双重否定律	$\sim(\sim A) = A$	式（1-17）
10a	反演律（德摩根公式）	$\sim(A \cap B) = (\sim A) \cup (\sim B)$	式（1-18）
10b		$\sim(A \cup B) = (\sim A) \cap (\sim B)$	式（1-19）
11a	对合律	$(A \cup B) \cap (A \cup (\sim B)) = A$	式（1-20）
11b		$(A \cap B) \cup (A \cap (\sim B)) = A$	式（1-21）

2.3 复合逻辑运算

另外，由与逻辑 $\cap$ 、或逻辑 $\cup$ 和非逻辑 $\sim$ 可以组成复合的逻辑运算，比如异或逻辑。

异或逻辑的定义是： $A \oplus B = (A \cap (\sim B)) \cup ((\sim A) \cap B)$ ，记为 $\oplus$ 。

异或运算逻辑关系见表 1-5。

用数学语言来说就是：只要 A、B 不相同，就有 $A \oplus B = 1$ 。

表 1-5 异或运算真值表

A	B	OUT = $A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



3 逻辑电路

在逻辑电路里实现与运算的电路叫与门，记作.

在逻辑电路里实现或运算的电路叫或门，记作.

在逻辑电路里实现非运算的电路叫非门，记作.

在逻辑电路里实现异或运算的电路叫异或门，记作.

此外，还可以得到其他复合门逻辑，比如与非门、或非门等。在计算机的基本电路里，除了上述门电路和复合门电路外，还有 RS 触发器、延时电路以及其他一些特殊电路。

RS 触发器的真值表如表 1-6 所示。

表 1-6 RS 触发器 (R 优先) 的真值表

S	R	OUT
0	0	保持原值
1	0	1
X (任意值)	1	0

RS 触发器用数学语言描述就是：R 是复位 RESET 的意思，S 是置位 SET 的意思。当复位端 R=1 时，输出被置 0；当 R=0 时，如果 S=1，则输出置 1；如果 S=0，则输出不变，保持以前的值。

运用逻辑代数的基本性质，可以方便地对逻辑函数进行化简或变换，因此在开关量控制系统的设计中得到广泛应用，形成了一个新的分支学科——控制系统的逻辑设计。逻辑设计是以逻辑代数为工具，研究构成开关量控制系统的科学。而逻辑设计的任务就是根据总体设计的要求，作出一套逻辑图来实现开关量控制系统的各项功能。本书研究火电厂开关量控制系统的逻辑设计。

第三节 开关量控制系统在火电厂的重要作用

火电厂热力过程是一个非常复杂的生产过程，热工自动化包括热工检测、自动调节、程序控制和热工保护。其中后面两项就属于开关量控制系统的范畴。

早期的火电厂单机容量低，参数也较低，主要采用母管制运行方式，对机组所进行的操作基本是一对一的操作或者就地手动操作；采用的控制系统是常规模拟仪表，比较简单；开关量控制和模拟量控制相对独立，两者之间基本没有相关性。

20 世纪 60 年代后，机组的容量和参数不断提高，并且采用单元机组的运行方式，开关量控制系统发展为集中控制方式，大量阀门和设备的操作都在单元控制室内进行。

20 世纪 80 年代随着 PLC 和分散式计算机控制系统的引进，开关量控制在火电厂中获得越来越广泛的应用。从水、煤、灰到大量的各种辅机设备、机炉主设备的启停和运行等，都需要开关量控制技术来提高它们的自动化操作水平，并逐步实现火电厂全厂顺序控制。

开关量控制系统的作用有以下几方面：

- (1) 实现机、炉、电及其辅助设备启、停或开、关的操作。
- (2) 对某一工艺系统或主要辅机按一定规律进行控制的控制系统，包括顺序控制系统。
- (3) 热工保护和逻辑联锁。

开关量控制与其被控对象的联系是十分紧密的，不但要了解被控对象装置及其外部设备

的工作原理,而且还需要了解被控对象的启停或开关操作规律、联锁保护条件和事故处理等方面的知识。

顺序控制系统是按照预先规定好的步骤、预先设定好的时间和满足预先设置的允许条件,使生产工艺过程中的设备自动地进行一系列操作。顺序控制系统可以是开环的,也可以是闭环的。

在火电厂里,不同的顺序控制系统,其控制范围差别很大。小的系统可能只有几个被控对象,操作步序在10步以内,例如风烟系统里的空气预热器、引风机、送风机、一次风机和电动给水泵、凝结水泵、循环水泵等;大的系统则可以达到上百个对象,操作步序几十步甚至上百步,例如吹灰程控、化水程控、输煤程控等。

热工保护和逻辑联锁的主要作用是,当机组在启停和运行过程中发生了危及设备安全的危险工况,使其能自动采取保护或联锁措施,防止事故扩大,从而保证了机组设备的安全。联锁是一种处理事故的控制方式。顺序控制系统和自动调节系统随时受热工保护系统的监测和控制。

大型火电机组都采用单元机组运行方式,机、炉、电形成了一个有机的整体,任何局部环节出现故障,都可能影响整个机组的正常运行。随着单机容量的提高,运行人员所需操作和监视的设备或项目越来越多,控制系统也随之越来越复杂。

例如某600MW机组的控制对象多达1100个,它们的分类统计为

电动门	700个
电动机(泵和风机)	200个
调节门	200个
模拟量调节回路	110套

如果全部由运行人员手动操作是难以完成的,不仅工作强度大,而且也容易误操作,特别是在机组启停或事故处理时会手忙脚乱,将导致事故进一步扩大。

综上所述,采用计算机的开关量控制系统,不仅可以减少运行人员的个数,也可以减少他们的操作次数,减轻他们的工作强度;同时采用CRT监控技术,即CRT软键盘操作和画面切换,还可以减小操作台或控制盘的尺寸,缩小监视面;更重要的是防止运行人员的误操作,有利于机组的安全运行。

第四节 火电厂开关量控制系统的常用术语介绍

在DL/T701—1999《火力发电厂热工自动化术语》中定义了下面一些术语:

(1) 备用设备自动控制(automatic stand-by control)。备用设备自动控制是指两个或两个以上并列运行的设备(如水泵),在运行设备故障停止或出口压力降低时,备用设备自动启动的控制。

(2) 单个操作(one-to-one control)。单个操作是指每个控制开关(或按钮)对应一台电动机的断路器(接触器),并由它直接对这台断路器(接触器)进行的跳合闸(开、关)操作。

(3) 电气控制系统(electric control system, ECS)。电气控制系统是指实现发电机—变压器及厂用电自动控制的总称。

(4) 辅机故障减负荷 (run back, RB)。当发生部分主要辅机故障跳闸, 使锅炉最大出力低于给定负荷时, CCS 将机组负荷快速降低到实际所能达到的相应出力, 并能控制机组在允许参数范围内继续运行称为辅机故障减负荷。RB 功能的实现为机组在高度自动化的运行方式下提供了安全保障。

(5) 给水泵汽轮机电液控制系统 (micro-electro-hydraulic control system, MEH)。给水泵汽轮机电液控制系统是指用微型机 (计算机) 及液压伺服机构实现给水泵汽轮机自动控制各项功能的控制系统。

注: 实际上也是数字电液控制系统, 但为了与大汽轮机的 “DEH” 相区别, 习惯上称为 “MEH”。

(6) 机组快速甩负荷 (fast cut back, FCB)。机组快速甩负荷是指当汽轮机或发电机甩负荷时, 使锅炉不停运的一种控制措施, 根据 FCB 后机组的不同运行要求, 可分为两种不同的运行方式:

1) 5%FCB, 是机组带厂用电单独运行的方式。

2) 0%FCB, 是停机不停炉的运行方式。

(7) 机组自启停控制系统 (Automatic Procedure System, APS)。机组自启停控制系统是指锅炉、汽机发电机组的自启停, 涉及全厂范围的自动化, 是最高水平的顺序控制。

(8) 开关量控制系统 (on-off control system, OCS)。开关量控制系统是实现机、炉、电及其辅助设备启、停或开、关的操作的总称及对某一工艺系统或主要辅机按一定规律进行控制的控制系统, 包括顺序控制系统。

(9) 开关量信号 (on-off signal)。在控制系统中, 只有接通和断开两种工作状态的信号。

(10) 联锁控制 (interlock control)。联锁控制是指某一参数到达规定值或某一设备启停时, 同时控制另一设备的控制。

(11) 炉膛安全监控系统 (furnace safeguard supervisory system, FSSS)。炉膛安全监控系统是指当锅炉炉膛燃烧熄火时, 保护炉膛不爆炸 (外爆或内爆) 而采取监视和控制措施的自动系统, 包括炉膛安全系统 (FSS) 和燃烧器控制系统 (BCS)。

(12) 模拟量控制系统 (modulating control system, MCS)。模拟量控制系统是指实现锅炉、汽轮机及辅助系统参数自动控制的总称。在这种系统中, 常包含参数自动控制及偏差报警功能, 对前者, 其输出量为输入量的连续函数。在对外文件中也可称闭环控制系统 (closed loop control system, CCS)。

(13) 旁路控制系统 (bypass control system, BPC)。旁路控制系统是指锅炉和汽轮机旁路的自动投入及蒸汽压力、温度自动控制系统的总称。

(14) 汽轮机紧急跳闸系统 (emergency trip system, ETS)。汽轮机紧急跳闸系统是指在汽轮机运行过程中, 出现异常时能采取必要措施进行处理, 并在异常情况继续发展到可能危及设备时, 能采取断然措施, 停止汽轮机运行的保护系统。

(15) 燃烧器控制系统 (burner control system, BCS)。燃烧器控制系统是指根据锅炉负荷变化的要求和炉膛燃烧器布置形式, 自动切投燃烧器的控制系统。在中间储仓式制粉系统中是单个或成对的切投燃烧器; 在直吹式制粉系统中是一台磨煤机及辅助设备的启停控制系统, 也是一种可以接受负荷指令的顺序控制系统。

(16) 燃油切断 (oil fuel trip, OFT)。燃油切断是指快速关闭燃油阀, 切断进入锅炉炉膛的所有油量。

(17) 事件顺序记录 (sequence of event, SOE)。事件顺序记录是指在发生事故时, 记录开关动作的顺序, 按时间先后打印出来。

(18) 首出原因 (first out)。首出原因是指保护动作后, 通过信号处理装置用声光信号指示出引起保护动作的第一原因。

(19) 输入/输出 (input/output, I/O)。

1) 数字量输入 (digital input, DI)。数字量输入是指不连续的数字量输入, 也称开关量输入 (on-off input)。

2) 模拟量输入 (analog input, AI)。模拟量输入是指连续变化的物理量输入。

3) 数字量输出 (digital output, DO)。数字量输出是指不连续的数字量的输出, 也称开关量输出 (on-off output)。

4) 模拟量输出 (analog output, AO)。模拟量输出是指连续变化的物理量的输出。

(20) 数字式电液控制系统 (digital electro-hydraulic control, DEH)。数字式电液控制系统是指由按电气原理设计的敏感元件、数字电路 (计算机)、按液压原理设计的放大元件和液压伺服机构构成的汽轮机控制系统。简称数字电调。

(21) 顺序控制系统 (sequence control system, SCS)。顺序控制系统是对某一工艺系统或主要辅机按一定规律进行控制的控制系统 (属于开环控制或逻辑控制之列)。

(22) 子组级顺序控制 (sub-group of sequence control)。子组级顺序控制是指把某一辅机及其附属设备或某一局部工艺系统看作一个整体的控制, 如送风机、引风机、给水泵的控制, 高压加热器旁路控制。

(23) 自动发电控制 (automatic generation control, AGC)。自动发电控制是指根据电网负荷指令控制发电机功率的自动控制系统。

(24) 总燃料跳闸 (master fuel trip, MFT)。总燃料跳闸是指由人工操作或保护信号自动动作, 切除进入锅炉炉膛的所有燃料。

(25) 组级顺序控制 (group of sequence control)。组级顺序控制是指把工艺上互相联系并具有连续不断的顺控特征的设备作为一个整体的控制, 如锅炉通风控制。